



VALON VÄRIN JA VÄRILÄMPÖTILAN SÄÄTÖ JA NIIDEN VAIKUTUS IHMISEEN

Arto Männistö

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Talotekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähköisen talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Männistö, Arto Johannes: Valon värin ja värilämpötilan säätö ja niiden vaikutus ihmiseen

Opinnäytetyö 45 sivua
Huhtikuu 2011

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia valon värin ja värilämpötilan säätöä valaisimissa ja miten valo vaikuttaa ihmiseen. Aluksi työssä perehdyttiin valoon ja näkemiseen: mitä valo on, mistä värit muodostuvat ja miten valo vaikuttaa ihmiseen. Valoon ja valon väreihin perehtymisen jälkeen tutkittiin valon värin ja värilämpötilan säätöä ja mitä hyötyä säädettävästä valosta on. Lopuksi tutkittiin miten LEDeillä voidaan säätää valon väriä ja värilämpötilaa ja mitä muita eri tapoja on säätää valonlähteen väriä ja värilämpötilaa.

Tutkimusten jälkeen havaittiin, että valo vaikuttaa ihmiseen monella tapaa. Valon säädöllä pystytään vaikuttamaan ihmisen päivittäiseen toimintaan. Kirkkaassa valossa keho saa energiaa, sinertävä kylmä valaistus piristää ja lämmin kellertävä valo rentouttaa.

Paras valonlähde värilämpötilan säätöön on LED. Erivärisillä LEDeillä pystytään tekemään valkoista ja värillistä valoa. Muilla valonlähteillä on hankalaa tuottaa samasta valonlähteestä sekä värillistä, että valkoista valoa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Building Services Engineering

Männistö, Arto Johannes: Control of colour and colour temperature and their effects on humans

Bachelor's thesis 45 pages
April 2011

The aim of this thesis was to study how to use colour and colour temperature control in lighting and how it effects on humans. First the study concentrates on light and seeing. What is light and how the eyes see light. After that the study approached colour and colour temperature control. How does colour and colour temperature control work with LEDs and what other different ways are there to control colour and colour temperature and what is the point doing so.

After the study it was obvious that light affects humans in many ways. Controlling the colour and colour temperature on the light we can greatly affect the everyday life of people. Bright light gives energy, cold bluish light brightens people up and warm yellowish light relaxes.

These results suggest that the best light source for colour temperature control is LED. With different colour LEDs it is easy to do white light and colored light. With other light sources you can only create white light or colored light.

Keywords

light, control of colour, colour temperature control

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	7
2. VALO JA NÄKEMINEN	8
2.1 Valo ja valon väri.....	8
2.1.1 Valovoima	11
2.1.2 Valovirta.....	11
2.1.3 Valaistusvoimakkuus	12
2.1.4 Luminanssi.....	12
2.1.5 Värilämpötila ja värintoisto	12
2.2 Silmän rakenne ja toiminta.....	16
2.3 Valon vaikutus ihmiseen	20
3. VALON VÄRIN JA VÄRILÄMPÖTILAN SÄÄTÖ	26
3.1 Valon värin ja värilämpötilan ohjauksen hyödyt	26
3.1.1 Arkkitehtuuriset vaikutukset	26
3.1.2 Biologiset vaikutukset	27
3.1.3 Emotionaaliset vaikutukset	28
3.2 Värilämpötilan ohjaus.....	28
3.3 Millä värit saadaan valaistukseen	30
4. VALON VÄRIN JA VÄRILÄMPÖTILAN SÄÄTÖ LEDEILLÄ.....	32
4.1 LED	32
4.2 LEDin toimintaperiaate ja rakenne	32
4.3 Valkoinen LED	34
4.3.1 Valkoinen valo väriensekoitustekniikalla	34
4.3.2 Valkoinen valo fosforikonversion avulla	35
4.4 LEDin valonohjaus	37

4.4.1 RGB-valonohjaus LEDeillä	38
4.5.1 Ongelmat LEDin käytössä.....	39
4.5.2 LEDin hyödyt	40
5. YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

Käsitteistö

LED	Light Emitting Diode eli valodiodi on puolijohdekomponentti, joka muuttaa vastaanotetun virran valoksi.
Luksi	eli valaistusvoimakkuus tarkoittaa valovirran tiheyttä valaistavalla pinnalla. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi (lx), joka on 1 lumen/m ² .
Luminanssi	eli valotiheys on pinnan kirkkauden mitta. Luminanssin yksikkö on kandela (cd/m ²). Valaistujen pintojen luminanssi riippuu valaistusvoimakkuudesta ja pinnan heijastusominaisuuksista. Näkeminen perustuu luminanssieroihin.
Värilämpötila	on valonlähteen värivaikutelma. Se ilmoitetaan Kelvin-arvona (K). Arkikielessä valoa kuvataan yleensä viileäksi tai lämpimäksi. Värilämpötila on määritetty neljään eri luokkaan lämmin <3000 K, neutraali 4000 K, kylmä >4500 K ja päivänvalo 6000 K.
Värintoisto	Värintoistoindeksillä (CRI, colour rendering index) eli R _a -indeksillä kuvataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen.

1. JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli perehtyä valon värin ohjaukseen. Mihin valon värin säätöä tarvitaan, mitä hyötyä siitä on ja miten se vaikuttaa ihmisiin?

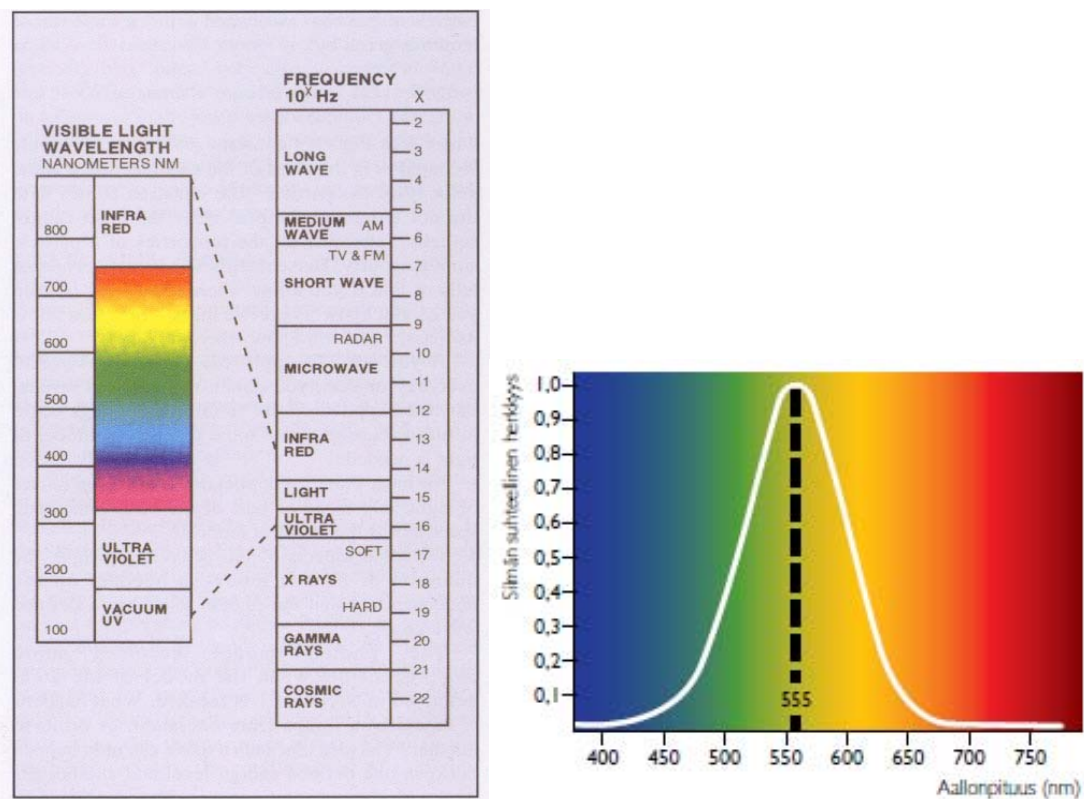
Opinnäytetyö on rakennettu siten, että aluksi käsitellään mitä valo on. Miten näemme värit ja kuinka valo kulkeutuu silmään ja sitä kautta siirtyy tietona aivoihin. Seuraavaksi perehdymme valon värin ja värilämpötilan säätämiseen ja käydään läpi mitä hyötyä niistä on ja miksi valon säätöä halutaan. Lopuksi käsitellään LEDin käyttöä valaistuksessa ja värinohjauksessa. Kuinka LED on kestävyydeltään ja värien säätö ominaisuuksiltaan paras mahdollinen valonlähde tilanteisiin, joissa tarvitaan värinsäätöä.

2. VALO JA NÄKEMINEN

2.1 Valo ja valon väri

Valo on sähkömagneettisen säteilyn ihmissilmälle näkyvä osa. (kuvio 1)

Ihmiselle näkyvät valon aallonpituudet osuvat 380 nm - 740 nm:n välille. Silmän herkkyys on suurimmillaan vihreän ja keltaisen valon aallonpituuden rajakohdassa noin 555 nm kohdalla. Tämä tarkoittaa sitä, että näemme keltavihreät värit parhaiten (kuvio 1). (Koninklijke, Philips Electronics N.V. 2007)



KUVIO 1: Sähkömagneettisen säteilyn spektri ja näkyvän valon aallonpituudet vasemmalla. Ihmissilmän suhteellinen herkkyyskäyrä oikealla. (Simpson, 2003, s.39), (Philips 2007, role of light)

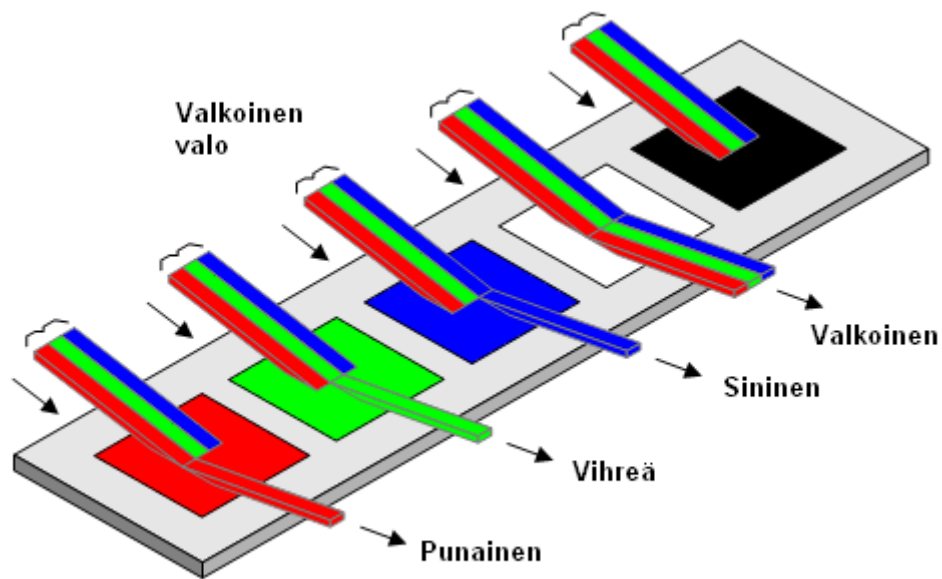
Ilmakehään saapuvasta valosta noin viidennes hajaantuu ilmakehään sen tiheyden takia. Ilmakehän läpäisevät valonsäteet koemme hyvin erilaisina riippuen vuorokauden ajasta eli siitä, mistä suunnasta valonsäteet kohtaavat maanpinnan ja kuinka pitkän matkan ne ovat kulkeneet ilmakehässä. Havaitsemme valon punertavampana aamulla ja illalla, koska matka on pidempi kuin keskipäivällä, jolloin näemme sinisen taivaan, joka on sitä kirkkaampi, mitä pölyttömämpää ja vesipisaroista vapaampaa ilma on.

Päivänvalon eräänlaisena keskiarvona ja vertailukohtana pidetään tasaisen ja varsin ohuen pilvipeitteen läpi tulevaa valoa. Silloin myös värit erottuvat parhaiten. (Rihloma, 1997)

Valo on värien kokemisen edellytys, pimeässä emme voi nähdä värejä. Värit muodostuvat eri pintojen kyvyistä heijastaa ja absorboida siihen kohdistuvia valonsäteitä tai tarkemmin niiden eri aallonpituuksia (kuvio 2).

Auringosta tuleva valo on valkoista kulkiessaan suoraan ilmakehän läpi kohti maata. Valkoinen auringonvalo sisältää kaikki eri aallonpituuksilla olevat värit eli niin sanotun spektrin. Valo koetaan valkoisena niissä olosuhteissa, joissa spektri ei hajoa. Spektri hajoaa esimerkiksi sateessa, muodostaen tällöin sateenkaaren, jolloin valkoinen valo siroaa eli heijastuu vesipisaroista eri aallonpituuksilleen. Lyhytaaltoisimmat violetit säteet taittuvat eniten ja pitkäaaltoisimmat punaiset vähiten, joten ne muodostavat päivänvalon kirjon eli spektrin ääripäät, muut sävyt sijoittuvat aallonpituuksiltaan niiden väliin.

(Rihloma, 1997, s.175)



Valkoisen valon heijastuminen eri värisiltä pinnoilta

KUVIO 2: Valkoisen valon heijastuminen pinnoilta.

Näkyvän valon aallonpituus on ihmiselle 380 nm – 740 nm välillä, joten tämän aallonpituusalueen eri osat vastaavat näkyvän valon spektrin eri värejä. Vaikka valon väri muuttuu, jokaisella aallonpituudella saadaan suurin piirtein rajattua eri värien aallonpituusalueet kuvion 3 mukaan.

Väri	Aallonpituus nanometriä (nm)
violetti	~ 380–430 nm
sininen	~ 430–500 nm
syaani	~ 500–520 nm
vihreä	~ 520–565 nm
keltainen	~ 565–590 nm
oranssi	~ 590–625 nm
punainen	~ 625–740 nm

KUVIO 3: Värien aallonpituudet. (<http://naatti.net>)

2.1.1 Valovoima

Valovoima kuvaa valonlähteen intensiteettiä eli valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta. Valovoima kertoo valovirran avaruuskulmaa kohti. Valovoiman SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela (cd) ja tunnus on I. (Halonen 1992, s.34)

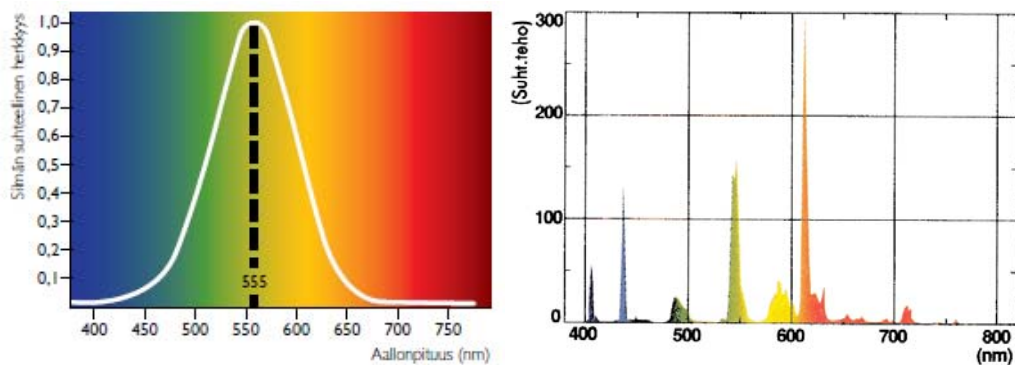
2.1.2 Valovirta

Valovirta saadaan johdettua valovoimasta. Valovirta kuvaa kuinka paljon valonlähde säteilee tiettyyn suuntaan. Valovirran SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on lumen (lm) ja tunnus on Φ . Valovirta saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\Phi = K_m \int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} V(\lambda) \Phi_{e,\lambda} d\lambda \quad (1)$$

jossa K_m on valotehokkuusvakio 683 lm/W, $\Phi_{e,\lambda}$ on säteilytehon spektritiheys (W/nm) ja $V(\lambda)$ suhteellinen silmäherkkyysluku.

Suhteellinen silmäherkkyys ja valolähteen säteilytehon suhteellinen spektritiheys näkyy kuviossa 4. Näiden avulla valovirta voidaan laskea.



KUVIO 4: Suhteellinen silmäherkkyyskäyrä ($V(\lambda)$) ja loistelampun säteilytehon suhteellinen spektritiheys. (Philips 2007, role of light)

2.1.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistuksessa useimmat tuotteet on kehitetty ihmisiä varten ja näissä sovelluksissa näkyvän valon voimakkuutta mitataan lukseina.

Luksi on valaistusvoimakkuuden yksikkö, joka perustuu ihmissilmän keskimääräiseen herkkyyteen. Pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Valaistusvoimakkuus (E) saadaan laskettua yhtälöllä, jossa pinnalle tuleva valovirta (Φ) jaetaan pinta-alalla

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

2.1.4 Luminanssi

Luminanssi kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta eli pinnan kirkkautta. Luminanssi kertoo valovoiman tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohti. Luminanssin SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). (Halonen 1992, s.37)

2.1.5 Värilämpötila ja värintoisto

Värilämpötila on valonlähteen värivaikutelma. Värilämpötila ilmoitetaan Kelvin asteikolla (K). Värilämpötila määritellään niin, että lisätään 273 siihen lukuun celsiusasteita joka vaaditaan niin sanotun mustan kappaleen lämmittämiseksi kohteesta tulevan valon väriseksi. Mustaa kappaletta käytetään standardina koska se ei heijasta valoa joka osuu siihen, vaan välittää ainoastaan säteilyä kun sitä kuumennetaan. Kelvin asteikko alkaa 0:sta kelvinistä mikä vastaa - 273 pakkasastetta celsiusasteikolla. Kelvin asteikko ilmaisee siis valon väriä. Arkikielessä valoa kuvataan yleensä viileäksi tai lämpimäksi, mutta tarkempaa

arviota tarvittaessa käytetään ohjeellisia arvoja (taulukko 1). (Philips 2007, s.279-280)

TAULUKKO 1: Värilämpötilat.

Lämmin	<3000 K
Neutraali	4000 K
Kylmä	>4500 K
Päivänvalo	6000 K

Värintoistoindeksillä (lyhenne CRI, englanniksi colour rendering index) eli R_a -indeksillä mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen. Alle 5000 K värilämpötilan valonlähteiden vertailuvalonlähteenä käytetään Planckin säteilijää, jota vastaa lähes täydellisesti hehkulamppu. Yli 5000 K värilämpötilan valonlähteillä käytetään standardoitua luonnonvalon kaltaista valonlähdettä (Halonen, 1992, s.152). Värintoistoindeksi ilmoitetaan lukuna asteikolla nollasta sataan, missä 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa, jossa värit eivät toistu lainkaan ja 100 täysin jatkuvasektristä valoa eli täydellistä värintoistoa. Eli värintoistoindeksi kertoo kuinka hyvin valo toistaa värit ja valon värin ilmoittaa värilämpötila. (www.vivimedi.fi)



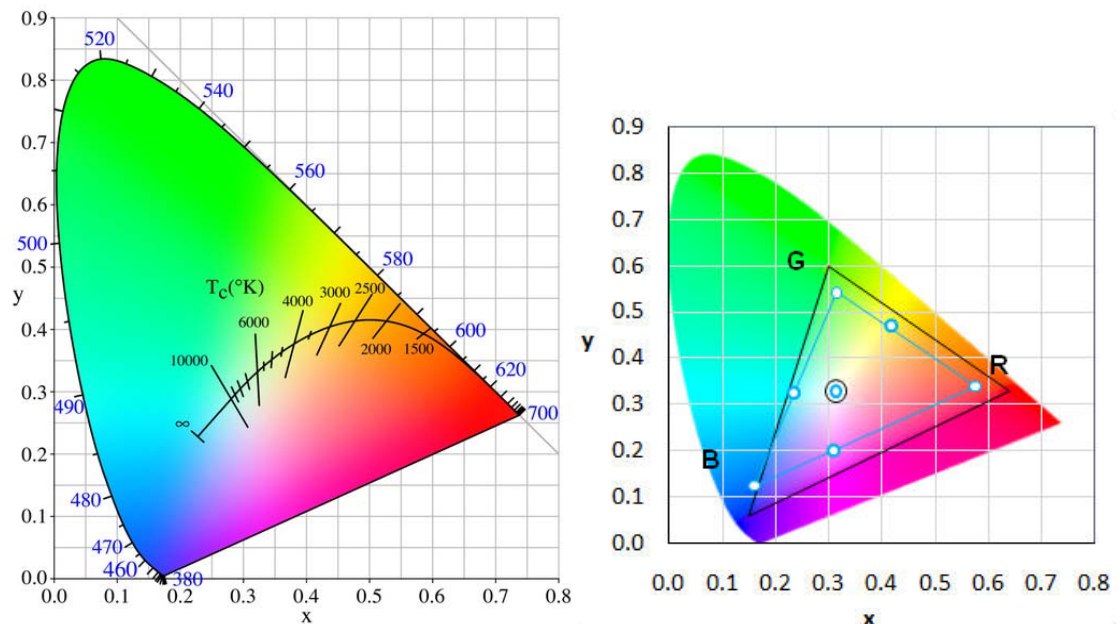
KUVIO 5: Värilämpötilat. (<http://naatti.net>)

Värilämpötilan muutos nähdään kuviosta 5. Musta kappale on musta huoneenlämmössä 300 K ja muuttuu siitä punaiseksi n. 800 K lämpötilassa. 5000 K lämpötilassa kappale näyttää valkoiselta ja n. 20 000 K lämpötilassa se on sininen. (Halonen 1992, s.59)

Niin kuin edellä mainittiin värilämpötila tarkoittaa sitä mustan kappaleen absoluuttista lämpötilaa, jossa sen väri vastaa valonlähteen valon väriä. Mikäli väri ei osu käyrälle käytetään ekvivalenttia värilämpötilaa (englanniksi CCT) T_c ,

jonka arvot voi lukea Planckin säteilijän säteilykäyrästä kuviosta 6. (Halonen 1992, s.133)

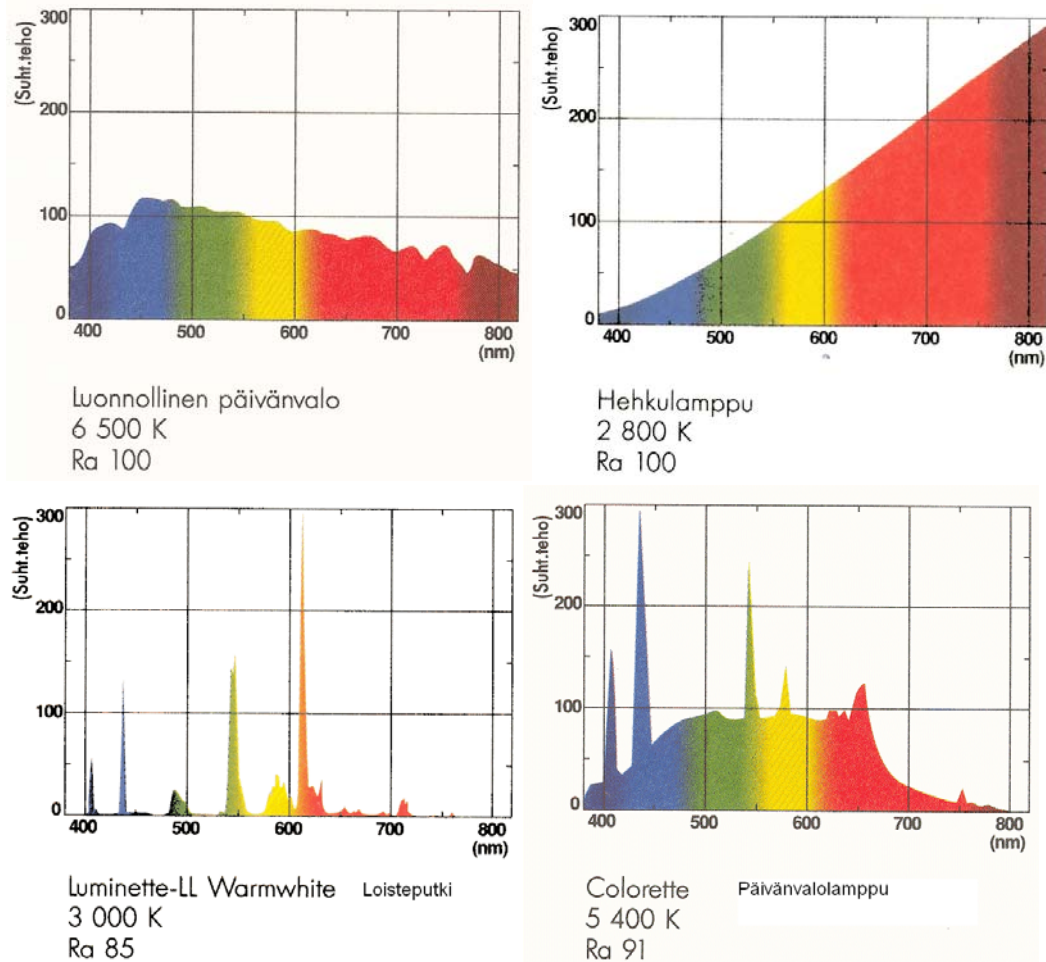
Kuviossa 6 olevasta Planckin säteilijän säteilykäyrästä pystymme havainnoimaan, kuinka värilämpötila saadaan toteutettua niin, että valonlähteen ei tarvitse kestää todella suuria lämpötiloja. Niin sanotun ekvivalentin värilämpötilan aikaan saamiseksi käytetään esimerkiksi RGB- tekniikkaa, jossa hyödynnetään kolmen värin avulla tehtyä valkoista valoa. Käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.4.1.



KUVIO 6: Planckin säteilijä värikoordinaatistossa vasemmalla ja oikealla RGB-pisteiden tuottama valkoinen valo. (Wikipedia), (<http://pc-gamut.net/Tekniikka/varisaato.html>)

Kuviossa 7 vertaillaan eri valolähteiden tuottamia spektrejä päivänvalon spektriin. Ensimmäisenä on päivänvalo, jota yritetään kaikin keinoin saada tuotettua. Toisena on hehkulamppu, josta huomataan sen sisältävän kaikki värit, mutta painottuu oranssin punaiseen väriin enemmän ja on näin ollen lämpimän keltaisen sävyinen. Kolmas kuva, jossa on spektrissä piikkejä siellä täällä, on loisteputken tuottama valkoinen valo. Neljännessä kuvassa on

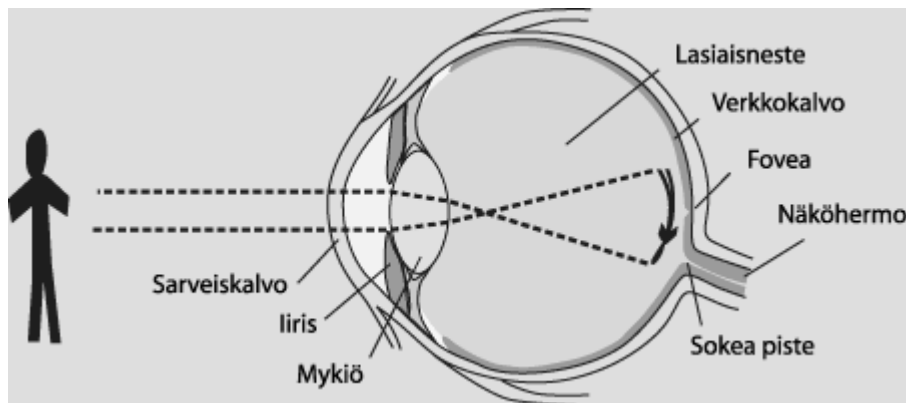
päivänvalolampun tuottama valkoinen valo, joka saadaan jo suhteellisen lähelle oikeaa päivänvalon värintoistoa.



KUVIO 7: Värintoisto eri valonlähteistä. (www.pilvivene.com)

2.2 Silmän rakenne ja toiminta

Silmä on halkaisijaltaan noin 22 mm ja hieman epäsäännöllisen muotoinen pallo, joka sijaitsee silmäkuopassa.



KUVIO 8: Silmän rakenne. (Kaukoniemi, 1998-2000)

Kovakalvo on silmän uloin kerros ja on väriltään valkoinen. Se muuttuu silmän etuosassa läpinäkyväksi sarveiskalvoksi, joka päästää valon läpi ja taittaa sitä.

Silmän etuosassa oleva värikalvo eli iiris (kuvio 8) säätelee silmään tulevan valon määrää. Iiriksen keskellä oleva mustuaisaukon eli pupillin koko vaihtelee. Pupillia ympäröivä rengaslihas supistuu valonmäärän lisääntyessä kun taas iiriksen säteittäiset lihakset laajentavat pupillin kokoa valonmäärän vähentyessä.

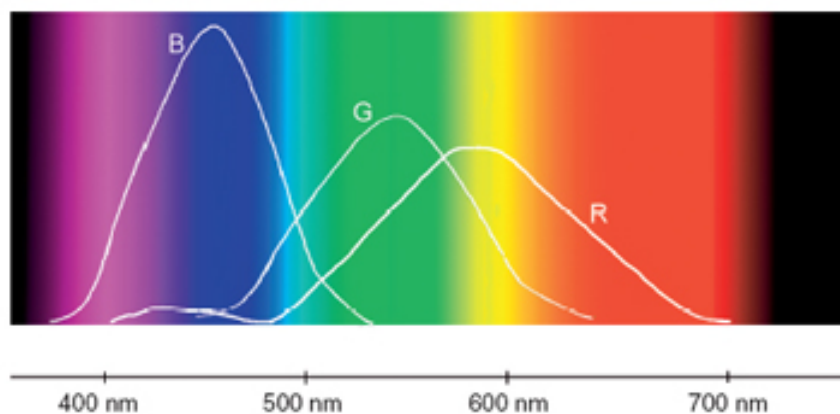
Silmän mykiö eli linssi (kuvio 8) on iiriksen takana ja on lähes täysin läpinäkyvä. Se on kaksoiskupera elin, jonka takapinta on kuperampi kuin etupinta. Sen tehtävä on taittaa silmään tulevat valonsäteet ja säätää taittovoima niin, että verkkokalvolle tuleva kuva pysyy terävänä katseluetäisyydestä riippumatta.

Lasiaisneste (kuvio 8) on hyytelömäinen massa, joka täyttää silmän takaosan ja muodostaa suurimman osan silmän sisällöstä.

Silmän sisimmässä kerroksessa on valolle herkkä verkkokalvo, jossa on monia erilaisia solutyyppejä, niistä näkemisen kannalta tärkeimmät ovat sauva- ja tappisolut.

Verkkokalvolla on noin 120 miljoonaa sauvasolua ja noin 7 miljoonaa tappisolua. Solutyypit ovat erikoistuneet valon havaitsemiseen. Solut sisältävät valoa absorboivaa näköpigmenttiä ja niiden toiminnallinen ero perustuu niiden sisältämien näköpigmenttien erilaiseen rakenteeseen.

Tappisoluja, joita löytyy eniten tarkan näön alueelta eli foveasta (kuvio 8 ja kuvio 11), on kolmea eri lajia ja ne jakautuvat lyhytaaltoiselle, keskipitkälle ja pitkäaaltoiselle valon aallonpituudelle. Nämä herkkyysalueet osuvat juuri punaisen(R), vihreän(G) ja sinisen(B) värin aallonpituudelle (kuvio 9). Tämän takia ihmissilmä havaitsee parhaiten juuri nuo kolme väriä, mistä johtuen valon pääväreiksi on valittu punainen, vihreä ja sininen. (Kaukoniemi, 1998-2000)



KUVIO 9: Kolmen eri tappisolun herkkyysalueet. (www.tikkurila.fi)

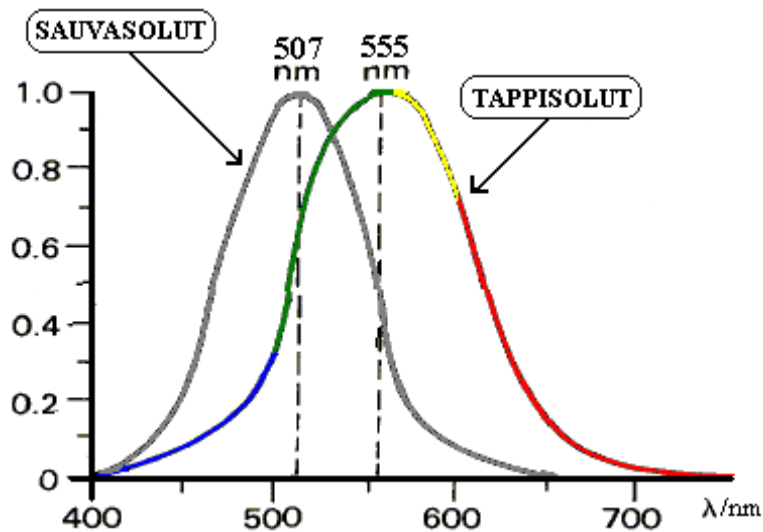
Sauvasoluilla näemme hämärässä valaistuksessa, mutta emme erota värejä.

Sauvasoluilla emme myöskään näe niin tarkasti kuin tappisolulla. Tämä johtuu siitä, että tarkan näön alueella eli foveassa on lähes ainoastaan tappisoluja.

(Halonen, 1992)

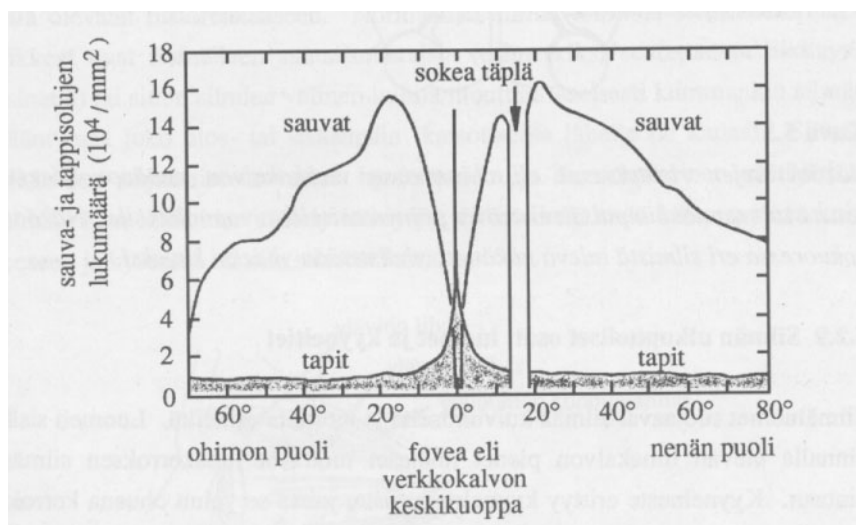
Kuvio 10 kertoo sauva- ja tappisolujen herkkyysalueet. Tappisolut, joilla erotamme värit, ovat herkimmillään 555 nm kohdalla, eli vihreän ja keltaisen värin rajakohdassa. Sauvasolujen herkin alue on myös vihreän värin alueella

n.507 nm kohdalla. Tämä ei kuitenkaan vaikuta mitenkään värinäköön, koska sauvasolut eivät erota värejä, vaan ne näkevät hämärässä kaiken harmaana.



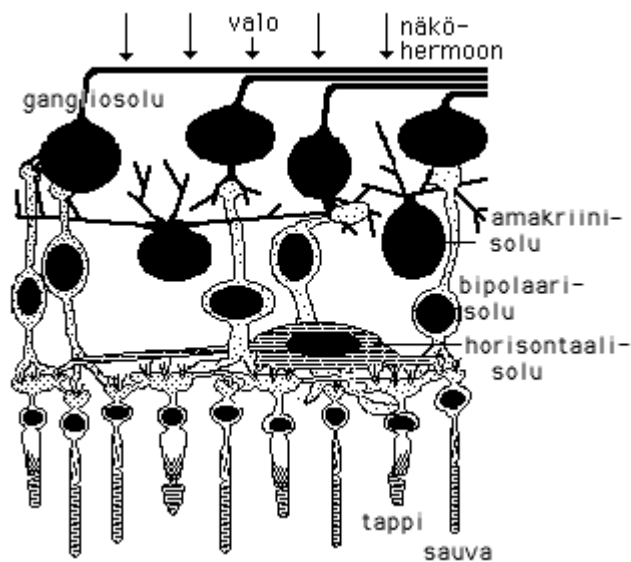
KUVIO 10: Silmän suhteellinen herkkyys. (Honkanen, Kajaanin amk)

Näköhermo muodostuu verkkokalvon gangliosoluista lähtevistä hermosolusäikeistä (kuvio 12), koska näköhermon tulokohdalla ei ole lainkaan tappi- eikä sauvasoluja ei tämä kohta silmästä pysty tekemään näköhavaintoja. Kuviossa 11 näköhermon tulokohta on esitetty sokeana täplänä. (Halonen, 1992)



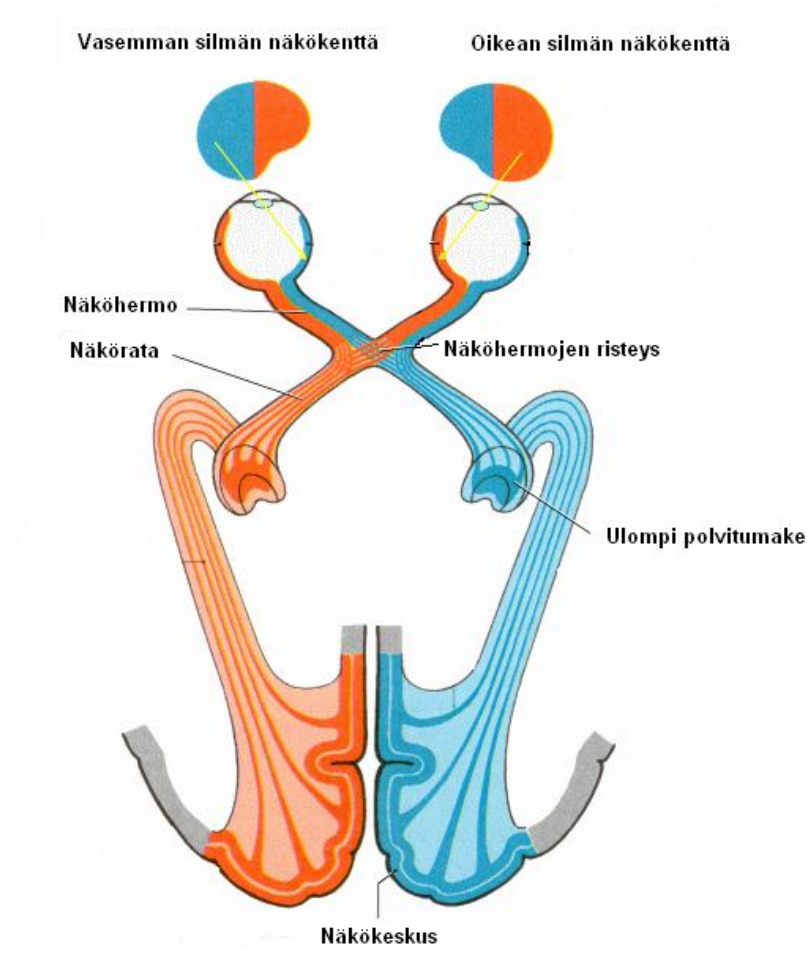
KUVIO 11: Sauva- ja tappisolujen jakaantuminen verkkokalvolla. (Halonen, 1992, s.89)

Valo tulee silmään verkkokalvolle sarveiskalvon ja linssin läpi. Verkkokalvossa olevat solut reagoivat valoärsykkeisiin ja lähettävät tiedon näköhermoa pitkin aivoihin. (Huttunen, 2004)



KUVIO 12: Valo kulkee verkkokalvon aistinsolukerrosten läpi tappi- ja sauvasoluihin, josta sähköinen viesti siirtyy näköhermoon ja sitä kautta aivoihin. (www.biomag.hus.fi/braincourse/L5.html)

Valon kulkeutuminen silmistä aivojen näkökeskukseen nähdään ylhäältä päin kuvattuna kuviosta 13. Silmän nenänpuoleisesta osiosta tulevat näköimpulssit risteävät vastakkaiselle aivopuoliskolle. Näkökeskus, joka sijaitsee aivojen takaosassa, yhdistää näkötiedon yhdeksi kuvaksi. (Halonen 1992, s.90)



KUVIO 13: Kuinka tieto kulkee silmistä aivojen näkökeskukseen.
(<http://instruct.uwo.ca/anatomy/530/530notes.htm>)

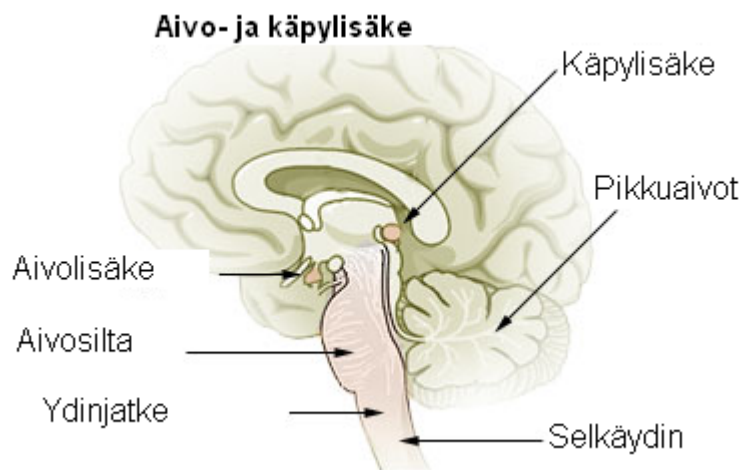
2.3 Valon vaikutus ihmiseen

Valo eli valon säteily vaikuttaa aivojen näkökeskuksen lisäksi koko kehon vireystilaan, hyvinvointiin ja suorituskyykyyn.

Vuonna 2002 tutkimuksen tehneet yhdysvaltalaiset David Berson Brownin yliopistosta ja George Brainard Philadelphian yliopistosta osoittivat, että valo vaikuttaa jo ennestään tunnettujen sauva- ja tappisolujen lisäksi kolmanteen löydettyyn aistinsoluun.

Tämä aistinsolu vaikuttaa aivojen eri hormoneihin, joissa sijaitseva käpylisäke (kuvio 14) on merkittävässä osassa hämärässä ja pimeässä tuotettavan

unihormonin, melatoniinin, erittymiselle. Kirkkaassa valossa taas lisämunuaisen kuorikerros alkaa erittää stressihormoni kortisolia, joka lisää verensokeria antaen keholle energiaa ja kohentaa immuniteettia.

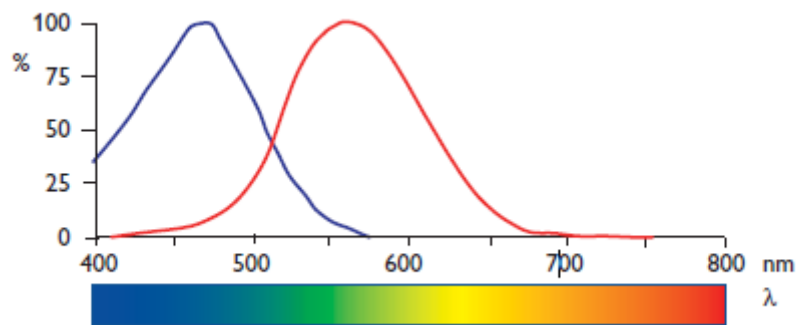


KUVIO 14: Käpylisäke on väliaivojen yläosassa, kolmannen aivokammion takaseinämässä sijaitseva pieni, noin 0,1-0,2 g painava rauhanen, joka erittää vereen muun muassa melatoniinia. (wikipedia)

Talven vähäisen päivänvalonmäärän aiheuttamia häiriöitä pidetään suurimpana syynä kaamosmasennukseen, englanniksi Seasonal Affective Disorder-nimellä kutsuttuun oireyhtymään (SAD).

Merkittävimmät viime vuosien valon terveysvaikutusten tutkimustulokset koskevat valon vaikutuksia ihmisen hormonitoimintaan ja vuorokausirytmiiin. Silmän verkkokalvolla on sauva- ja tappisolujen lisäksi valoherkkiä reseptorisoluja, niin kuin edellä mainittiin, jotka eivät välitä näköhavaintoja vaan ainoastaan valoimpulsseja. Nämä reseptorisolut ovat erityisen herkkiä sinispektriselle valolle (kuvio 15). Valon saapuessa reseptorisoluun, käynnistyy monimutkainen kemiallinen prosessi, joka vaikuttaa aivojen suprakiasmaattiseen tumakkeeseen, jonka avulla elimistö noudattaa noin 24 tunnin vuorokausirytmiiä. Kronobiologisella järjestelmällä tarkoitetaan tätä ihmisen vuorokausirytmiiä ja vuodenaikojen vaihtelua. Rytmiiin vaikuttavat perintötekijät, mutta myös joissain määrin ympäristötekijät, ennen kaikkea valo.

Valo siirtyy hermoratoja pitkin silmän verkkokalvolta hypotalamuksen niin sanottuihin suprakiasmaattisiin tumakkeisiin ja sieltä edelleen käpylisäkkeeseen (kuvio 14). Käpylisäkkeestä lähtee käsky vuorokausirytmiamme ohjaaville melatoniini-hormonia tuottaville soluille lopettaa tämän hormonin tuotanto.



KUVIO 15: Silmän herkkyyden käyrä (punainen), biologiset vaikutukset (sininen). (van Bommel)

Kuvion 15 käyristä huomataan, että ihmiseen biologisesti vaikuttavat valon aallonpituudet eroaa silmän aallonpituuden herkkyyden alueesta huomattavasti. Biologisten vaikutusten käyrä perustuu ihmisen melatoniini tason tukahduttamiseen. (Brainard, 2002), (van Bommel, 2004)

Hämäryys ja pimeys käynnistävät melatoniinin tuotannon, kun taas voimakas sinispektrinen valo tukahduttaa hormonin tuotannon tehokkaimmin. (Boyce, 2003, s.100-106)

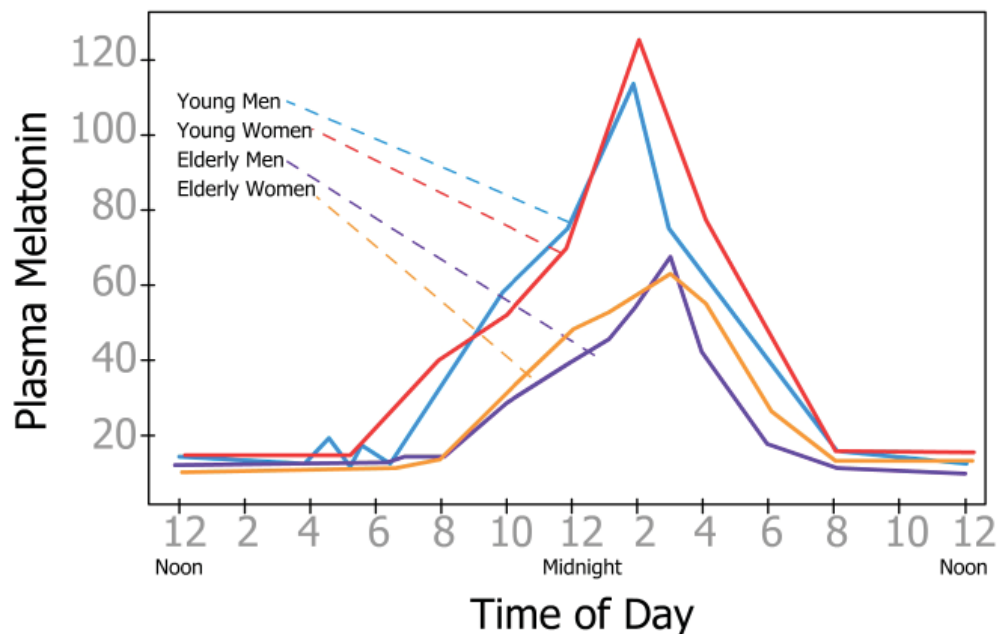
Väitöskirjaa valon ei-visuaalisista vaikutuksista ihmisen vireyteen ja suorituskäkyyn tekevä Emilia Rautkylä tutki värilämpötilan vaikutusta opiskelijoissa. Tutkimus tehtiin Teknillisen korkeakoulun luentosalissa vuosina 2007 ja 2008. Tilassa käytettiin kahta 49 watin värilämpötilaltaan erisävyistä T5-loistelamppua. Värilämpötiloina toimi 4000 K tai 17000 K, joka sisälsi vahvemman sinisen komponentin.

Valon ohjauksessa käytettiin DALI-protokollaa, jolla saatiin jokaiselle liitäntälaitteelle oma osoite ja näin ohjattua jokaista lamppua erikseen.

Tulokset osoittivat selkeästi, että etenkin syksyllä kylmempi valon sävy auttoi ylläpitämään opiskelijoiden vireyttä. Tutkimus osoitti myös, että 17000 K valaistus lievensi iltapäiväväsymystä, niin sanottua post-lunch-dip-efektiä. Tämä vahvistaa taas käsitystä siitä, että keinovalon merkitys on suuri pimeinä vuodenaikoina.

Vaikka Rautkylä kertoo myös yleiseksi harhaluuloksi sen, että sinertävän valon uskotaan piristävän ihmistä, sanoo hän kuitenkin kylmäsävyisemmän valon auttavan pitämään henkilön virettä yllä. (Kallonen, Sähköala-lehti 1-2/2010, s.34-35) Uskoakseni kuitenkin kylmäsävyisessä valossa on sinertävää valoa enemmän, joten sinertävä valo vaikuttaa ihmisen vireyteen.

Ikääntyneillä uni-valverytmin kannalta tärkeä melatoniini-hormonin tuotanto heikkenee (kuvio 16). Ikääntyneet kärsivät useammin huonosta unenlaadusta ja unettomuudesta ja he ovat herkempiä univalverytmin häiriöitä aiheuttaville tekijöille. Ikääntyneillä on myös taipumusta vuorokausirytmien aikaistumiseen, kun taas nuoremmilla ihmisillä on taipumus vuorokausirytmien pidentymiseen.



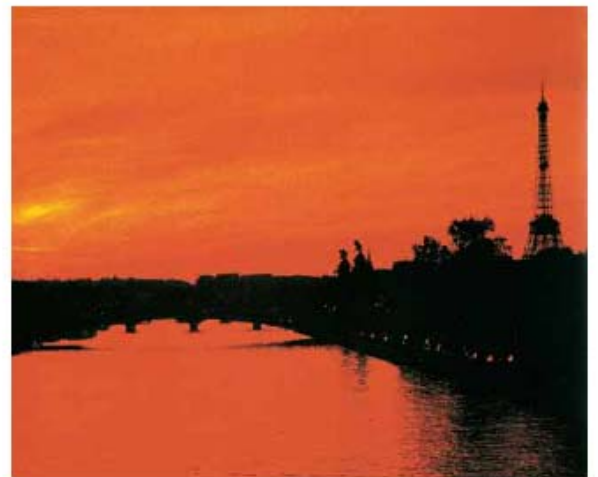
KUVIO 16: Melatoniinin tuotanto heikkenee vanhetessa. (Light & Health seminaarin luentomateriaali)

Tutkimuksessa, jossa testattiin valon määrän ja värilämpötilan vaikutuksia melatoniin tuotantoon huomattiin, että alle 30 luksin värilämpötilaltaan lämminsävyisessä valossa (4100 K) ei enää vaikuttanut melatoniin tuotantoa vähentävästi. Sadan luksin valomäärä viileänsävyisessä valossa (8000K) esti melatoniin tuotantoa jo merkittävästi. Riittävä hämäryys yöllä on tärkeää ikääntyneillä, jotta melatoniinin tuotanto ei keskeytyisi.

(Figuero ym. 2006) (Boyce 2003, 437-438)

Yöaikaisen valon on todettu olevan haitallista, koska käpylisäke joka vastaa melatoniinin tuotannosta, laskee kehon lämpötilaa, heikentää vireyttä, ja edistää siten unensaantia. Sen tehtäviin kuuluu myös muiden hormonien kurissa pitäminen kuten estrogeenin, jonka liiallinen yöaikainen erityys lisää rintasyövän riskiä naisilla. Tämä on niin sanotun valosaasteen haittapuolia. Valosaasteeksi kutsutaan kaikkea haitallista ja tarpeetonta keinovaloa.

(Valosaaste ympäristöongelmana materiaali,
www.helsinki.fi/henvi/opetus/JMY10/15_valosaaste.pdf)



KUVIO 17: Luonnon värit aikaisin aamulla ja myöhään illalla Pariisissa. (van Bommel, 2004)

Valon värillä on suuret biologiset vaikutukset ihmiseen.

Sinisellä ”kylmällä” valolla on suuremmat biologiset vaikutukset kuin ”lämpimällä” punertavalla valolla. Kuviosta 17 näemme päivänvalon tuottamat

värit aikaisin aamulla ja myöhään illalla. Näkymät aiheuttavat tunteellista vaikutusta, mutta myös biologista vaikutusta. (Bommel, 2004)

Sininen väri aamuisin aiheuttaa herättävää vaikutusta, melatoniinin tuotanto pysähtyy. Illan punertavalla taivaalla on rentouttava vaikutus.

Näitä värejä ja valaistusvoimakkuuksia hyödyntämällä pystymme toistamaan nämä vaikutukset keinovalolla. (Bommel, 2004)

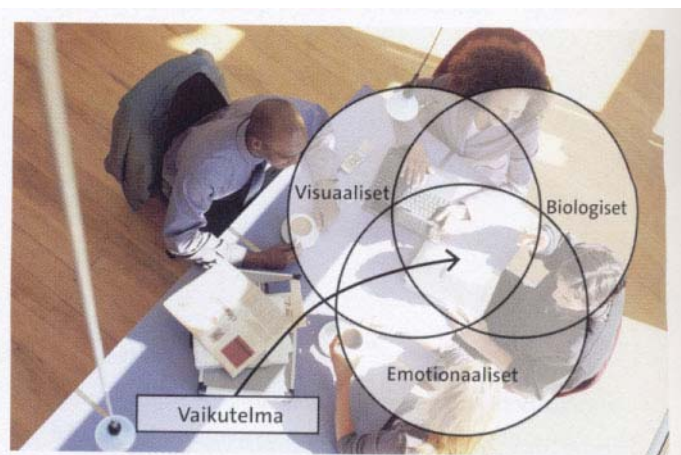
Ennen valaistuksen suunnittelussa on keskitytty vain valon visuaalisiin tekijöihin, mutta kolmannen aistinsolun löytymisen myötä tulevaisuudessa on otettava huomioon myös biologiset ja emotionaaliset vaikutukset ihmisiin.

Valaistussuunnittelussa on otettava huomioon myös seinien kautta heijastuva valo. Tommy Govén ja Thorbjörn Laike ovat tehneet yhteistyössä Lundin yliopiston kanssa tutkimuksen millä tavoin meitä ympäröivä valo vaikuttaa hyvinvointiimme. Tutkimus osoitti, että horisontaalisesta näkölinjasta $\pm 30^\circ$:n tasolta tuleva valo eli näkökentässä olevat pystypinnat vaikuttavat kehoon huomattavasti. Ihmisten vireystilan, hyvinvoinnin ja suorituskyvyn kannalta päästään parhaaseen tulokseen, kun seinien luminanssiksi saadaan noin 100cd/m ja vaakatason valonvoimakkuudeksi saadaan 500 luksia. Tutkimus osoitti myös, että reuna-alueiden valoisuus vaikuttaa kehon stressihormoneihin ja vireystilaan suhteellisen lyhyessä ajassa. Tämän takia ihmisten biologista kelloa voidaan siirtää hyvin suunnitellun valaistuksen ohjauksen avulla. Esimerkiksi pimeinä vuodenaikoina ihmisten aktiivisuutta voidaan lisätä valaisemalla aamulla tilan reuna-alueita voimakkaammin. (www.fagerhult.fi/planering/studie/studie.pdf), (Fagerhult Valaistus 2009-2010, s.480)

3. VALON VÄRIN JA VÄRILÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

3.1 Valon värin ja värilämpötilan ohjauksen hyödyt

Valon vaikutelmalle on monta eri tekijää. Myös valon värilämpötilalla on suuri merkitys. Jokainen yksilö kokee valon erilaisena. Siihen voi liittyä omakohtaiset kokemukset tai vaikkapa asuinpaikka. Nämä tekijät on jaettu kolmeen eri luokkaan visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset tekijät (kuvio 18), joiden yhdistelmästä saadaan henkilökohtainen valon vaikutelma.



KUVIO 18: Vaikuttavat tekijät valaistuksen suunnittelussa. (Fagerhult Valaistus 2009-2010, s.480)

3.1.1 Arkkitehtuuriset vaikutukset

Arkkitehtuurisissa kohteissa on valon värien käyttö lisääntynyt huomattavasti. Valolla ja sen väreillä on tehty paljon julkisten rakennusten ilmeen parantamisessa ja yksityiskohtien esille tuonnissa. Ulkovalaistuksessa värejä on hyödynnetty esimerkiksi suihkulähteissä.

Arkkitehtuuriset vaikutteet näkyvät myös puistoissa ja katuvalaistuksessa. LED-valaisinten halventuminen ja valotehon parantuminen on lisännyt niiden käyttöä ulkovalaistuksessa. Masentavan kellertävät natriumlamput vaihtuvat piristävän valkoisiin LED-valoihin (kuvio 19).



KUVIO 19: Vasemmalla LEDeillä valaistu ja oikealla natriumlampuilla valaistu katu (Kari Peltonen, Tekniikkatalous.fi/energia), (<http://adlux.wordpress.com>)

3.1.2 Biologiset vaikutukset

Värillä saadaan ihmisessä aikaan piristävää vaikutusta (kappale 2.3), jolloin saadaan työtehokkuutta parannettua. Kylmäsävyinen valo eli värilämpötilan kasvattaminen auttaa piristämään aamuisin ja sitä suositellaankin käytettäväksi työpaikoilla. Lämminsävyistä valoa, eli sen lämpimämpi mitä pienempi värilämpötila, käytetään mieluiten kotiloissa ja se myös parantaa ihon värisävyä. (Howard, 2011, s.26)

Dynaaminen valaistus olisikin työpaikoilla ja julkisissa tiloissa paras vaihtoehto, koska sillä tarkoitetaan muuntuvaa ja muunneltavaa valaistusta. Valaistusta voi muunnella valon voimakkuuden, värin, värilämpötilan, suunnan ja valokeilan leveyden mukaan. Dynaamista valaistusta voi ohjata manuaalisesti tai automaattisesti kellon, päivänvalon, liikkeen tai läsnäolon mukaan.

(Aro 2008, Dynaaminen valaistus)

3.1.3 Emotionaaliset vaikutukset

Emotionaaliset vaikutuksen koostuvat lähinnä jokaisen henkilökohtaisista kokemuksista ja luonteesta, mutta niihin vaikuttavat myös kulttuurilliset erot. Samalla värillä voi olla erilaiset vaikutukset eri maiden välillä. (Keith Bright ja Geoffrey Cook, 2010)

3.2 Värilämpötilan ohjaus

Värilämpötilan ohjauksella tarkoitetaan valolähteen värivaikutelman ohjausta. Valaisimen valonlähteitä voidaan säätää lämpimän ja kylmän värilämpötilan välillä. Seuraavaksi käydään läpi eri tapoja ohjata värilämpötilaa.

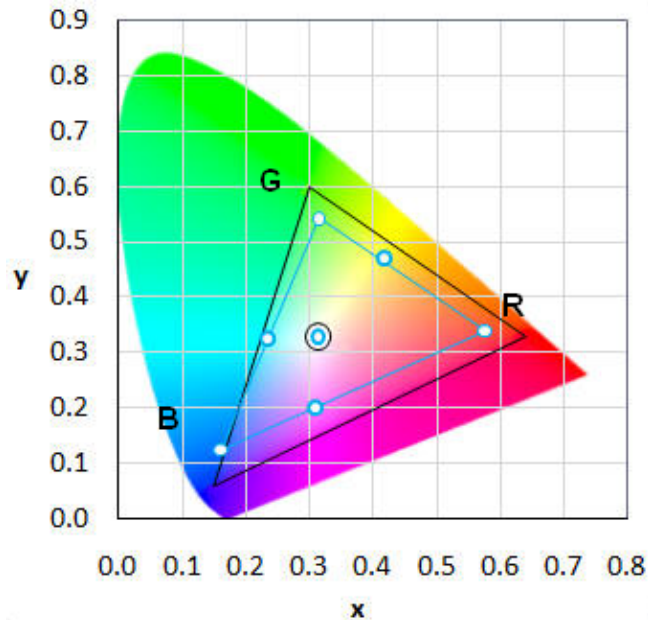
Yksi tapa on yhdistää samaan valaisimeen lämminsävyisiä ja viileäsävyisiä valonlähteitä niin, että värit sekoittuvat tasaisesti eikä valaisimen ulkopuolelta näy eriväriset lamput. Nyt kun lämmin- ja viileäsävyisiä lamppuja ohjataan erikseen, saadaan niiden valojen sekoittuessa eri värilämpötiloja eri valonlähteiden värilämpötilojen väliltä. (Varsila, Valo-lehti 2/2010, s.25)

Värilämpötilan ohjauksessa voidaan käyttää myös RGB- valonohjausta, jossa käytetään kolme väriä (kappale 2.1.5). Yhdistämällä punaisen, vihreän ja sinisen värin saadaan aikaiseksi valkoista valoa (kuvio 20). Näitä pisteitä siirtämällä pystytään valkoisen valon värilämpötilaa muuttamaan.

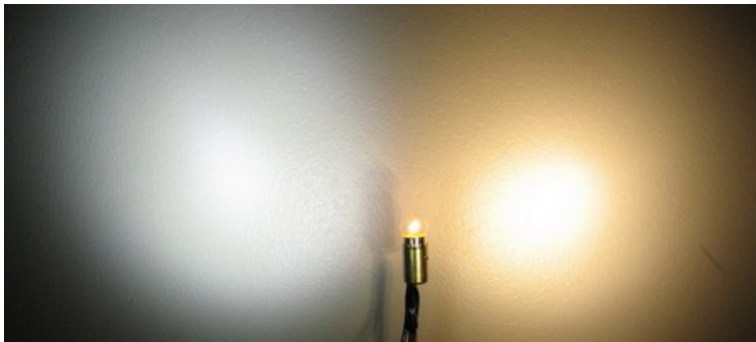
Toinen tapa hyödyntää RGB- ohjausta värilämpötilan säädössä, on lisätä siitä saatuun valkoiseen valoon useampia monokromaattisia LEDejä, joita pystytään säätämään. Näin valkoiseen valoon sekoittamalla muuta väriä saadaan värilämpötilaa muutettua. (Schubert 2003, s.233-234)

LEDeillä värilämpötilan säätö ei ole kuitenkaan niin yksinkertaista miltä se vaikuttaa. Lämpötila vaikuttaa erivärisiin LEDeihin eri lailla. Esimerkiksi punaiset LEDit ovat herkempiä lämpötilan muutokselle kuin siniset ja vihreät. Tämän

takia tarvitaan LED-ohjaukseen takaisinkytkentä, joka kompensoi valovirran muutosta eri LEDeissä. (Moisio 2005)



KUVIO 20: Värikoordinaatisto, jossa RGB-pisteiden yhdistäminen tuottaa valkoista valoa. (<http://pc-gamut.net/Tekniikka/varisaato.html>)



KUVIO 21: Kylmä ja lämminsävyinen LED, keskellä 5W hehkulamppu. (www.limic.fi/html/led_tek.htm)

Kuviossa 21 nähdään miten värilämpötilaltaan kylmä ja lämmin LED-valonlähde eroaa toisistaan. Kuvan vasemmalla puolella on kylmän valkoinen noin 6000 K ja oikealla puolella lämpimän valkoinen noin 3400 K valo.

3.3 Millä värit saadaan valaistukseen

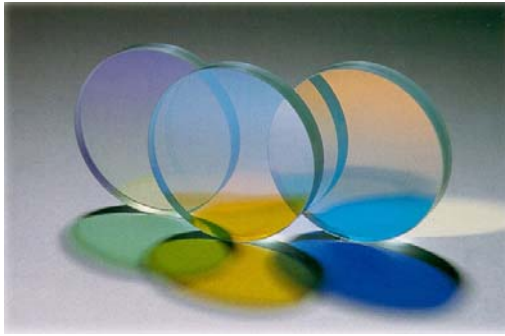
Kaikessa viihde- ja teatterivalaistuksessa ja suurimmassa osassa arkkitehtuurista valaistusta, missä halutaan käyttää värejä, on värit saatu perinteisesti aikaiseksi erilaisten suodattimien avulla, jotka päästävät läpi vain tietyn väristä valoa. Seuraavaksi käsitellään eri tapoja, miten värit on saatu valonlähteisiin.

Värilliset kuvut, lampun kuori päällystetään lakalla tai jauheella, mikä päästää lävitse vain tietyn valon aallonpituuden ja pitää muut sisällään. Huono puoli on lakan ja jauheen rapistuminen lämmön vaihtelun seurauksena.

Lasiset suodattimet, lasiin on tekovaiheessa lisätty väriainetta ja näin saatu värillinen suodin lampun eteen. Hyvä puoli on, että ne kestävät pitkään, mutta täysin samanvärisiä laseja on mahdoton tehdä.

Muoviset kalvosuodattimet. Lampun kuoren päälle laitetaan irtonainen muovisuojaus, mikä määrää minkä väristä valoa halutaan päästää läpi. Halpa toteuttaa ja voidaan käyttää lähes minkä tahansa valonlähteen kanssa. Huonona puolena suodattimen lyhyt vaihtoväli, koska lämpö kovettaa muovin ja samalla haurastuttaa sitä.

Värijakosuodatin on lasia jossa on monikerroksinen pinnoite (kuvio 22). Se suodattaa tietyt aallonpituudet ja päästää lävitseen vain tietyn värin aallonpituuden. Näillä suodattimilla saadaan todella tarkasti rajattua, mitä väriä halutaan päästää sen lävitse.



KUVIO 22: Värijakosuodatin. (wikipedia.org/wiki/Dichroic_filter)

Väriämpötilansäätösuodatinta tarvitaan, kun käytetään erilaisia valonlähteitä, joiden väriämpötilat poikkeavat toisistaan liikaa. Esimerkiksi purkauslamppujen väriämpötila on paljon korkeampi kuin vaikka halogeenilampun. Ongelmaa ei tule ohjelmaa paikanpäältä katsottuna, mutta jos ohjelma kuvataan näkee kamera lämpötilaerot ja muuttaa valon sävyä. (Simpson, 2003, s.370-371)

Kaikissa yllä olevissa tavoissa huonona puolena on huono hyötysuhde ja suuremmat kustannukset verrattuna RGB-LEDiin.

4. VALON VÄRIN JA VÄRILÄMPÖTILAN SÄÄTÖ LEDEILLÄ

4.1 LED

LEDit (Light Emitting Diode) eli loistediodit ovat puolijohdekomponentteja, jotka muuttavat vastaanottamansa virran valoksi. Ensimmäiset LEDiin perustuvat havainnot tehtiin jo vuonna 1907 Henry Joseph Roundin toimesta.

Vuonna 1993 Shuji Nakamura kehitti sinisen LEDin ja sitä kautta pystyttiin luomaan valkoinen LED.

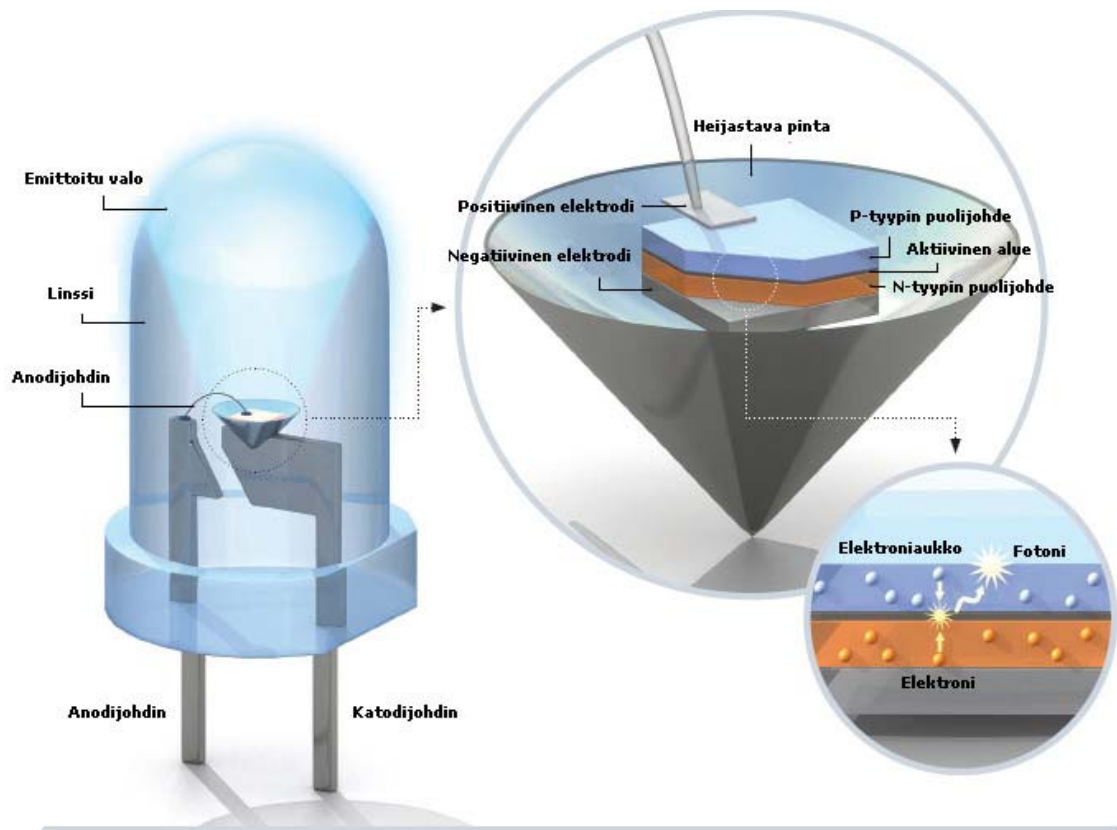
LEDin kehitys ei ole vielä pysähtynyt vaan jatkuu edelleen. LEDeistä on tulossa hallitseva valonlähde tulevaisuudessa.



KUVIO 23: Punaisia LED komponentteja. (Honkanen, Kajaanin amk)

4.2 LEDin toimintaperiaate ja rakenne

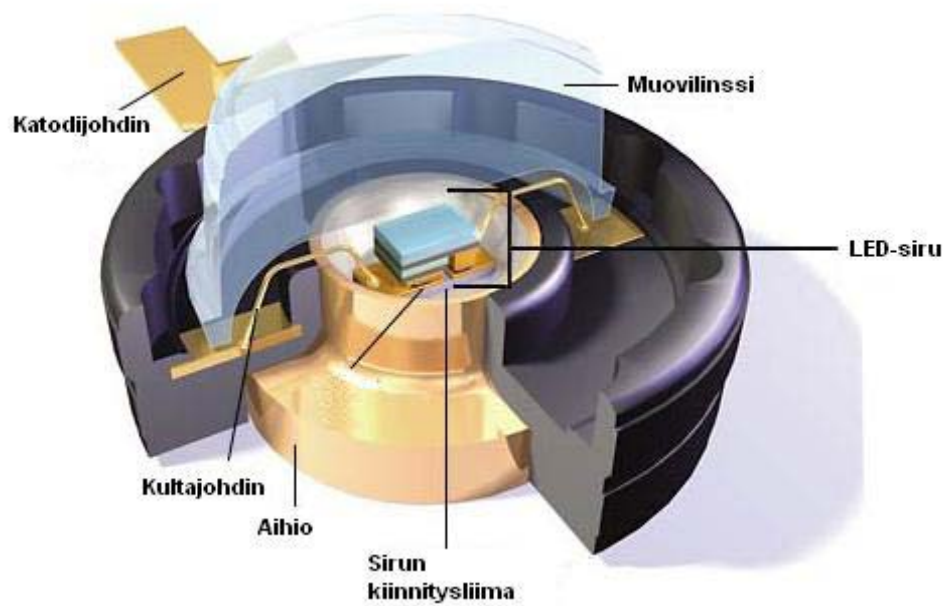
LED on puolijohdekomponentti, joka sisältää p-n- liitoksen. Se emittoi optista säteilyä, kun siihen johdetaan sähkövirta. Katodilta anodille kulkeva päästösuuntainen virta kuljettaa elektroneja ja elektroniaukkoja kohti sirun liitoskohtaa. Ledin liitoskohdassa elektronit ja elektroniaukot yhdistyvät ja sen seurauksena elektroni siirtyy alemmalle energiatasolle, jolloin vapautuu energiaa. Osa energiasta emittoituu valoksi ja osa vapautuu värähtelynä ympäröiviin atomeihin, josta seuraa lämpenemistä (Kuvio 24). Led ei juuri säteile lämpöä vaan lämpö on johdettava pois LEDistä. (Tetri, Kohti valoa – seminaari 2010), (Simpson, 2003, s.153–154)



KUVIO 24: LEDi komponentin rakenne. (Bryan Christie Design, Heikki Mattilan diplomityö)

LEDin värit määräytyy sen mukaan mitä materiaaleja puolijohdeena käytetään. Punaiset, oranssit ja keltaiset LEDit valmistetaan alumiini-gallium-indium-fosfidista (AlGaInP) tai alumiini-indium-gallium-fosfidista (AlIn-GaP). Vihreät, siniset ja valkoiset LEDit tehdään indium-gallium-nitridi-puolijohdeesta (InGaN). (Honkanen, Kajaanin amk)

Valaistuksessa käytetyn teho LEDin rakenne on esitetty kuviossa 25. Näitä LEDejä käytetään valaistuksessa, koska niiden valotehokkuus on huomattavasti suurempi kuin pienemmissä LEDeissä. Tehokkuuden takia nämä LEDit vaativat suuremman jäähdytyslevyn, mikä lisää valaisimen kokoa.



KUVIO 25: Teho LEDin rakenne. (Aalto-yliopisto, LEDit valaistuksessa)

4.3 Valkoinen LED

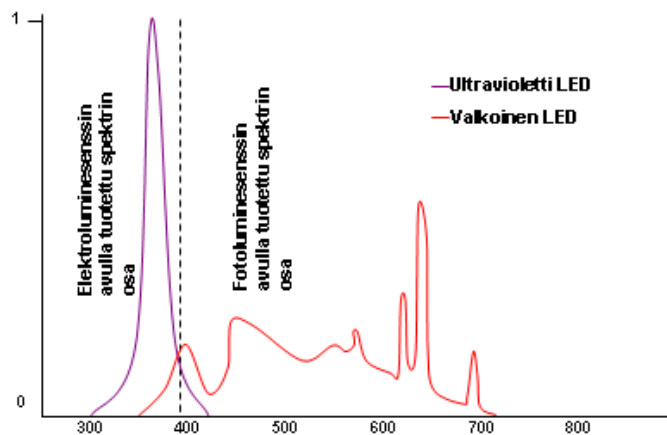
Valkoisen LED valon tuottamiseen on pääasiassa kaksi eri tekniikkaa. Voidaan käyttää joko väriensekoitustekniikkaa eli RGB:tä tai fosforikonversiota, jossa sinistä tai ultraviolettivaloa säteilevä LED yhdistetään fosforista valmistetun pinnoitteen kanssa.

4.3.1 Valkoinen valo väriensekoitustekniikalla

Väriensekoitustekniikka eli RGB, jossa punaisten, vihreiden ja sinisten LEDien valoa sekoittamalla saadaan aikaan valkoista valoa. Väriensekoitustekniikassa haasteena on tämänhetkinen vihreiden LEDin huono valotehokkuus, joka laskee RGB-valonlähteen valotehokkuutta. Lisäksi tekniikka vaatii ohjausyksikön ja takaisinkytkennän (kappale 3.2) oikean värin suhteen saavuttamiseksi ja on rakenteeltaan monimutkainen. Etuna tekniikassa on mahdollisuus dynaamiseen valon spektrin säätöön (Aalto-yliopisto, LEDit valaistuksessa).

4.3.2 Valkoinen valo fosforikonversion avulla

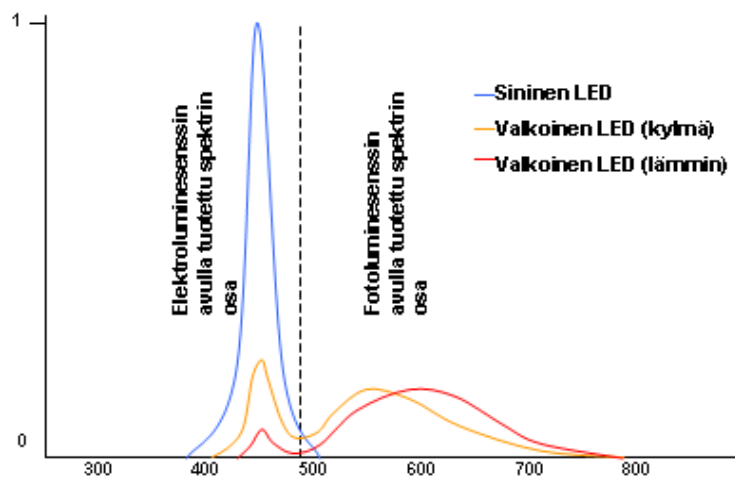
Valkoista valoa saadaan käyttämällä ultraviolettivaloa emittoivan LEDin päällä punaista, vihreää ja sinistä fosforipinnoitetta, joka absorboi UV-valoa ja emittoi suuremman aallonpituuden valoa laajalla spektrillä (kuvio 26). Monivärifosfori on yhdistelmä erivärisiä fosforoivia aineita. Ne muuttavat LEDistä lähtevää säteilyä siten, että sen spektrissä on kaikkia kolmea pääväriä. Huonot puolet fosforipinnoitteen valkoisen UV-LEDin valmistuksessa on taipumus yksilökohtaiseen vaihteluun optiikassa ja säteilyhuipun aallonpituudessa, sekä fosforin elinikä (Azevedo, 2009).



KUVIO 26: Valkoisen valon luonti UV-LEDillä ja useilla fosforeilla. (Aalto-yliopisto)

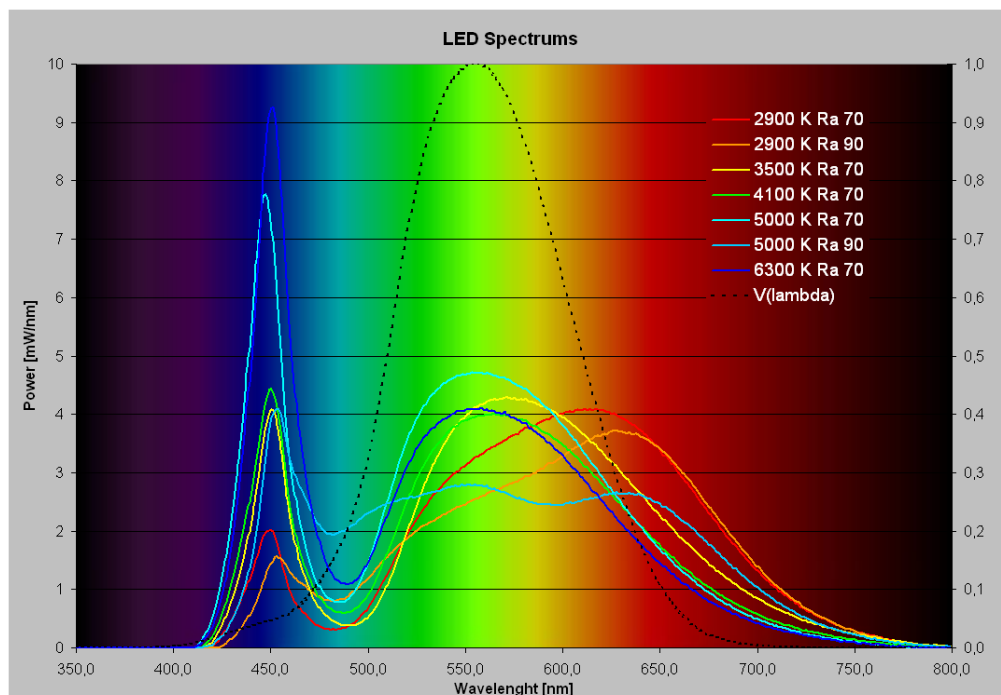
Toinen tapa on käyttää sinistä LEDiä ja keltaista fosforia (kuvio 27). Valkoinen valo saadaan aikaiseksi, kun sinistä valoa säteilevä LED päällystetään keltaista valoa fosforoivalla materiaalilla. Fosfori absorboi ja muuttaa lyhyet aallonpituudet pidemmiksi.

Punainen fosfori voidaan lisätä parantamaan värintoistoa ja alentamaan värilämpötilaa, mutta samalla se alentaa valotehokkuutta.



KUVIO 27: Valkoisen valon luoti sinisellä LEDillä ja keltaisella fosforilla. (Aalto-yliopisto)

Paras mahdollinen värintoisto ja puhtain valkoinen saadaan, mitä enemmän eri värejä pystytään lisäämään valonlähteeseen (kuvio 28). Huonoina puolina on se, että tällaisista valonlähteistä tulee kalliita ja vaikeasti ohjattavia.

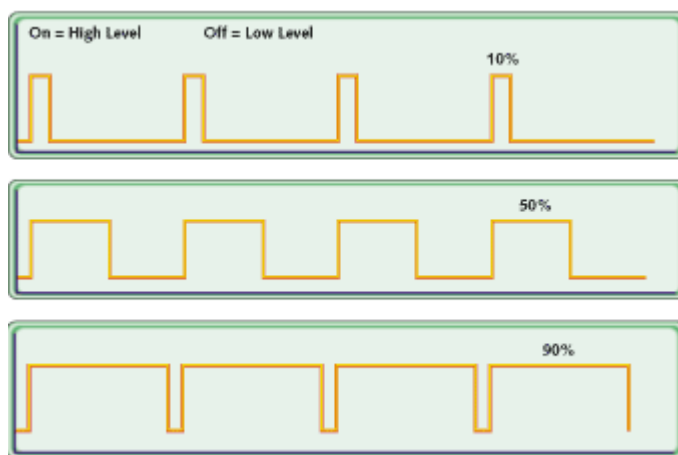


KUVIO 28: Luonnonvalon spektri on saatu toistettua seitsemällä värillisellä LEDillä ja keltaisella fosforilla päällystetyllä InGaN-diodilla. (Aalto-yliopisto, LEDit valaistuksessa)

4.4 LEDin valonohjaus

LEDejä pystytään ohjaamaan jatkuvan virran säädöllä (Continuous Current Reduction) tai pulssinleveysmodulaation (Pulse Width Modulation) avulla. LEDien ohjauksessa käytetään yleisimmin pulssinleveysmodulaatiota, jossa LEDien syöttöä pulssitetaan korkealla taajuudella (kuvio 29), joka on 10 - 20 kertaa suurempi verrattuna verkkovirran taajuuteen. Näin varmistutaan siitä, että silmä havaitsee valon tasaisena himmennyksestä huolimatta. (Fagerhult Valaistus, 2009–2010, s.492), (Pakarinen, 2004)

Kuviosta 29 nähdään miten pulssinleveysmodulaation avulla himmennetään LED. Pulssin ollessa ylhäällä LED on päällä ja sen ollessa alhaalla LED on pois päältä. Mitä kauemmin LEDiä pidetään päällä, sitä kirkkaammalta se näyttää.



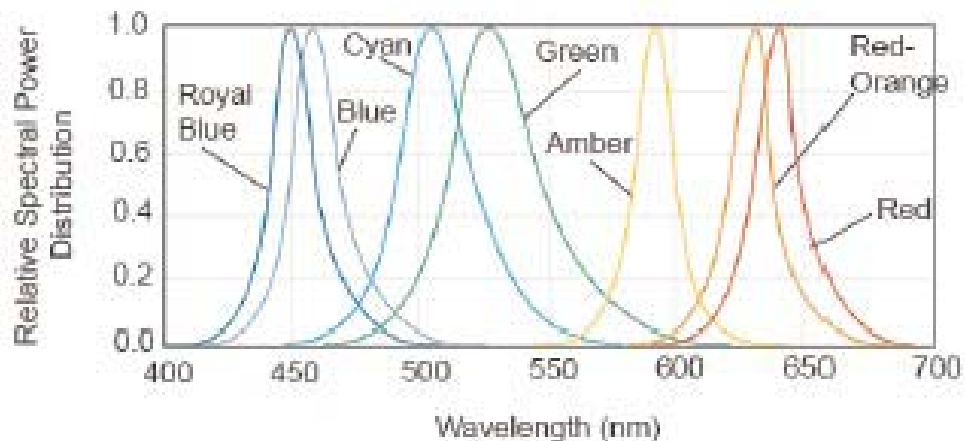
KUVIO 29: Pulssinleveysmodulaation toiminta. (www.reuk.co.uk/LED-Dimmer-Circuit.htm)

Jatkuvan virran säädössä (CCR) LEDin läpi kulkevan virran arvoa muutetaan. Näin pystytään ohjaamaan LEDin valoteho noin 10 % asti, kun PWM-tekniikalla se saadaan lähes nollaan (0,05 %) asti. (Simpson, 2003, s.157) Molemmissa tavoissa säätö vaikuttaa valon väriin (kappale 3.2).

4.4.1 RGB-valonohjaus LEDeillä

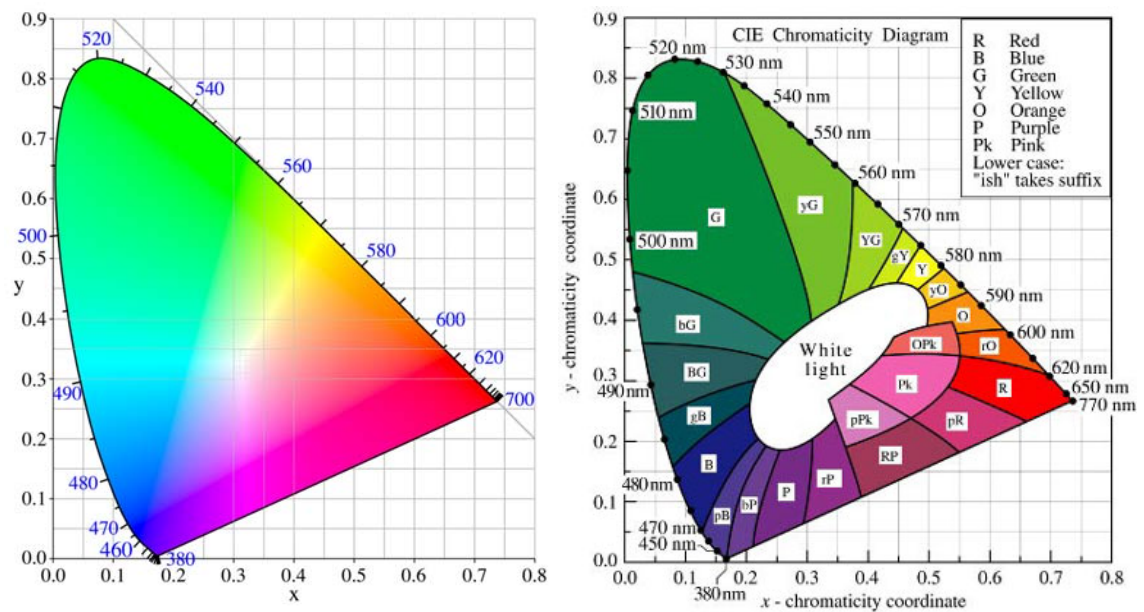
Punaisiin, vihreisiin ja sinisiin väreihin perustuvaa valonohjausta sanotaan RGB-ohjaukseksi. Näitä kolmea väriä ohjaamalla saadaan tehtyä noin 65 000 eri väriä (kuvio 31). (Fagerhult Valaistus 2009–2010, s.524)

Värintoistoa saadaan parannettua huomattavasti lisäämällä neljännen värin punaisen, vihreän ja sinisen rinnalle. Meripihka (amber) tai syaani (cyan) ovat yleisimmin käytetyt lisävärit, koska ne sijaitsevat aallonpituuksiltaan suurin piirtein sinisen ja vihreän, ja vihreän ja punaisen puolella välissä (kuvio 30).



Kuvio 30: Eriväristen LEDien säteilemät valon aallonpituudet. (Future Lighting Solution, Tuomas Lamminmäki)

Vaikka samassa valaisimessa tai rakenteessa on sekoitettu punaisia, vihreitä ja sinisiä valonlähteitä ei niitä erota mikäli valonlähteet sijaitsevat valoa hajottavan kuvun tai lasin takana. Mikäli eriväriset valonlähteet ovat erillään toisistaan, tarvitaan riittävä etäisyys valaistavaan kohteeseen. Etäisyys on sitä pidempi, mitä kauempana eriväriset valonlähteet sijaitsevat toisistaan.



KUVIO 31: Värikoordinaatisto (vasemmalla) ja eriväristen LEDien aallonpituusalueet (oikealla). (<http://img808.imageshack.us/i/ciexy1931kartta.jpg>), (www.oksolar.com/led/led_tech-chromatic_chart.htm)

LED-tekniikalla toteutetut värinohjaukset ovat päätyneet valaistusarkkitehtuurin työkaluiksi. Esimerkkeinä ovat Lahden ja Kuopion torien väriä vaihtavat valojohdeputket ja Tampereella sijaitsevan Hotelli Ilveksen julkisivuvalaistus. LED-valojen ohjaukseen on markkinoilla useita erilaisia järjestelmiä. Useimmiten niitä ohjataan DMX512-standardin mukaisilla järjestelmillä jotka käyttävät sarjaväylää. Standardi käyttää yleisesti käytössä olevaa RS485-standardin mukaista tekniikkaa. Lisäksi ethernet-pohjaiset järjestelmät ovat yleistymässä. (Pakarinen Raimo, <http://customer.canter.fi/svs/test/upload/Valo204s30-33.PDF>)

4.5 Hyvät ja huonot puolet LEDin käytössä

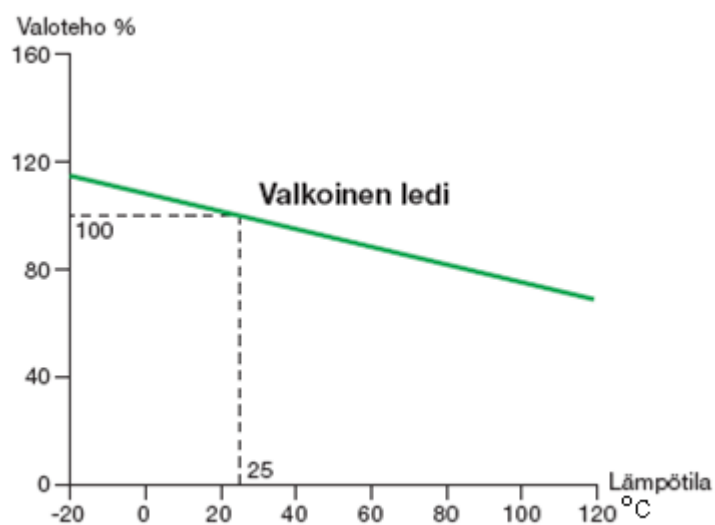
4.5.1 Ongelmat LEDin käytössä

LEDin suurin ongelma on niiden lämpeneminen, koska suurin osa LEDin käyttämästä energiasta muuttuu lämmöksi. Näin ollen lämpö on johdettava

jollain tapaa pois LEDeistä, koska se vaikuttaa niiden käyttöikään, väriin ja valovirtaan. Noin 70–80 prosenttia LEDin kokonaistehosta muuttuu lämmöksi, loput 20–30 prosenttia muuttuu valoksi. Hehkulampulla näkyväksi valoksi muuttuu vain noin 10 prosenttia.

Lämmön johtaminen pois LEDistä pientehoisissa LEDeissä (alle 0,5W) voi vielä onnistua komponentin johtimia myöten, mutta suurtehoisemmissa LEDeissä tarvitaan erillinen jäähdytyslevy.

(Honkanen, Kajaanin amk)



KUVIO 32: Lämpötilan vaikutus LEDiin. (H.Honkanen, Kajaanin amk)

LEDin käyttöikä on kymmeniä tuhansia tunteja. Se vaihtelee laadun, mutta myös lämpötilan mukaan. Puolijohteen huono lämpötilan kesto on LEDin heikkous. Korkea käyttölämpötila nopeuttaa loistediodin intensiteetin laskua ja heikentää sen valotehoa (kuvio 32).

4.5.2 LEDin hyödyt

Ahtaat paikat ja tilat joissa valaisimien lämpeneminen tuottaa ongelmia ovat LED valaisimet parhaita. LEDit ovat myös käytettävyydeltään parhaita RGB-valaisimissa, kun halutaan tuottaa eriväristä valoa.

LEDeillä on korkea mekaaninen lujuus. Niillä ei ole hauraita osia, ne kestävät kylmyyttä, kuumuutta, tärinää ja iskuja. Tämän takia LED voi toimia vaativissa ympäristöolosuhteissa. Esimerkiksi perinteisten lamppujen tehokkuus matalissa lämpötiloissa vähenee huomattavasti, mutta vuorostaan LEDin tehokkuus jopa hieman kasvaa (kuvio 32), mikä sopii hyvin esimerkiksi ulkovalaisimille. Eivätkä tiheä sytyttäminen ja sammuttaminen vaikuta LEDin käyttöikään.

LED-valot eivät sisällä elohopeaa, argonia tai muita myrkkyaaineita. Kaikki osat on valmistettu kierrätysmateriaaleista ja käyttöajan päättymisen jälkeen aineita voi taas kierrättää uudelleen, mikä on monta kertaa vähentää ympäristön saastumista. (www.lettlight.com)

Käyttöikä LEDeillä on pitkä. Se vaihtelee kuitenkin paljon riippuen LEDin tyypistä. Arvioitu maksimielinikä on noin 100 000 tuntia ja valaistuksessa käytettävillä suuritehoisilla LEDeillä se on 10 000-50 000 tunnin välillä. Käyttöikä LEDeillä tarkoittaa sitä, kun alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä enää 50–70% (ST 57.52). LEDit eivät koskaan pala lopullisesti, vaan niiden valovirta vähenee ajan myötä.

5. YHTEENVETO

Ihmissilmässä on valolle herkkiä soluja, jotka reagoivat valoon, sen väriin ja värilämpötilaan. Osa näistä soluista hidastaa unihormoni melatoniinin tuotantoa. Hämäryys ja pimeys käynnistävät melatoniinin tuotannon, mutta kylmäsävyinen sinispektrinen valo tukahduttaa sen. Siksi nykyisessä valaistussuunnittelussa tulisi tulevaisuudessa ottaa huomioon myös valon värin ja värilämpötilan säätö. Se auttaisi ihmisiä pysymään virkeämpinä ja luomaan rentouttavaa vaikutusta tarvittaessa.

Hyödyntämällä valon vaikutusta ihmisiin nykyisissä valaistusratkaisuissa, voidaan työtehokkuutta lisätä. Aamuisin työpaikoilla valaistusta voitaisiin säätää kylmäsävyisemmäksi, joka piristää ja auttaa pitämään vireyttä yllä. Iltapäivällä taas valon värilämpötilaa voitaisiin säätää lämpimämmän keltaisen sävyiseksi antaen hieman rentouttavaa vaikutusta.

LED-valaisimet häviävät valaistusvoimakkuudessa vielä loisteputkivalaisimille, joten yleisvalaistuksessa niitä ei vielä kovin paljon käytetä. LED-valaisimet ovat kuitenkin paras vaihtoehto vaativiin olosuhteisiin ja tilanteisiin, joissa tarvitaan värinsäätöä.

Työn tavoitteena oli tutkia eri tapoja, miten valon väriä ja värilämpötilaa voidaan ohjata ja kuinka ne vaikuttavat ihmiseen. Lopuksi tutkittiin kuinka LEDeillä pystytään säätämään valon väriä ja värilämpötilaa. Tavoitteissa onnistuttiin paremmin miltä aluksi vaikutti. Aluksi työ tuntui suppealta, mutta työn edetessä materiaalia alkoi löytyä ja työtä jouduttiin jopa hieman lyhentämään.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto, LEDit valaistuksessa, https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/s-118.3216/.../S-118_3216_led-kalvot.pdf

Aro Päivi, Dynaaminen valaistus Tulevaisuuden valaistusratkaisut muistihäiriöisen asuin- ja hoivaympäristöön, Taiteen maisterin lopputyö 2008

Azevedo, Inês Lima; Morgan, M. Granger and Morgan, Fritz. The Transition to Solid-State Lighting. Proceedings of the IEEE Vol.97, No. 3, March 2009, s. 481-510

Bhusal Pramod and Helsinki University of Technology, ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC LIGHTING FOR BUILDINGS IN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES, Espoo 2009, s.22-24

van Bommel, G.J. van den Beld, Lighting for work: visual and biological effects, Philips Lighting 2004, W.J.M

Boyce, P., R. (2003). Human Factors in Lighting. Taylor & Francis. London s.100-106, s. 437-438

Brainard, G.C., "Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans", Fifth International LRO lighting research symposium, Orlando, (2002).

Bright Keith ja Geoffrey Cook, The Color, Light and Contrast Manual, 2010 Wiley-Blackwell, s.110

Eino Tetri, Kohti valoa -seminaari Pikku-Parlamentin kansalaisinfossa ke 10.3.2010, http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf

Fagerhult Valaistus 2009-2010, s.492, s.524

Figuro, M., Rea, M., Bullough, J. (2006). Circadian effectiveness of two polychromatic lights in suppressing human nocturnal melatonin. Neuroscience Letters. Volyme 406/3, 9 Oct 2006. S. 293–297

Halonen Liisa – Jorma Lehtovaara, Valaistustekniikka, Gumerrus Kirjapaino Oy 1992, s.34–37, s.59, s.85–89, s.130

Huttunen Martti ja Werner Söderström Osakeyhtiö, 2004, Värit pintaa syvemmältä, s.28

Honkanen, Kajaanin amk,
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf

Howard, Brinsky, Leitman, Green Lighting, 2011, McGraw-Hill Companies, s.26

Kallonen, Rautkylä, Sähköala-lehti 1-2/2010, s.34-35

Kaukoniemi Juha & Volantis Oy 1998-2000. <http://www.volantis.fi/sivut/color-theory.html>

Koninklijke Philips Electronics N.V. 2007
www.lighting.philips.com/fi_fi/.../role_of_light_finnisch.pdf

Moisio, Pajula, Pinho, Halonen and Sepponen, "Use of junction temperature in control of CCT in LED luminaire," in Proceedings of the CIE Midterm Meeting and International Lighting Congress - Congreso Internacional De Iluminación - La Iluminación En El Siglo XXI – León, Spain, 2005, pp. 328-334

Rihlama Seppo. 1997. Värioppi. 6. painos. Rakennustieto Oy. Tampere. s.175

Ruokonen Kari, Valo-lehti 1-2/2008, s38-39

Schubert E. Fred, Light-Emitting Diodes, 2003 Cambridge, s.233-234

Simons R.H.& A.R.Bean, Lighting Engineering Applied Calculations, 2001, s.275, s.277

Simpson Robert S., Lighting Control – Technology and Applications, 2003, s.153-154, s.370-371

ST-kortisto, ST 57.52, LED-valaistusjärjestelmät, s.3

Varsila Markku, Valo-lehti 2/2010, s.24-25

Pakarinen Raimo, 2004, <http://customer.canter.fi/svs/test/upload/Valo204s30-33.PDF>

Pofessori Aulis Tuominen, Turun Yliopisto, Easy Led Oy:n www-sivut, www.led1.fi/led_teknologia.html

Valaistuksen energiatehokkuus –direktiivi 2002/91/EY ja standardi EN 15193-1, Fagerhult, www.fagerhult.fi/planering/energi/energidirektiv.pdf

Valosaaste ympäristöongelmana materiaali, www.helsinki.fi/henvi/opetus/JMY10/15_valosaaste.pdf

ps://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/s-118.3216/.../S-118_3216_led-kalvot.pdf

www.biomag.hus.fi/braincourse/L5.html

www.fagerhult.fi/planering/studie/studie.pdf

www.valosto.com/toimintaryhmat/lediryhma

www.pilvive.com/materiaalit/index.php?option=com_content&view=article&id=52:33-valaistuksen-vaerintoisto-teksti&catid=10:fy3-artikkelit

www.vivimedi.fi/cr.php

www.lettlight.com